
LOS DIAGRAMAS BIOCLIMÁTICOS

1

por JAVIER GONZALEZ DE ALAIZA GARCIA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS

INTRODUCCION

Uno de los aspectos más interesantes que existen relacionando la Climatología y las Ciencias Naturales, es la elaboración de diagramas bioclimáticos a partir de los datos que aquella nos proporciona, para establecer unas primeras aproximaciones sobre los efectos que el clima tiene en los diferentes seres vivos, vegetales y animales, estableciendo toda una serie de relaciones entre ambos —climas y seres vivos— que van desde una situación óptima¹, hasta unas situaciones que en determinados casos imposibilitan la presencia de ciertos seres, ya sean vegetales o animales, o incluso su total ausencia, constituyendo el clima, y por consiguiente los factores climáticos, una auténtica barrera biogeográfica.



FOTOGRAFIA: PERE BRU

¹ Situación óptima que podemos interpretar como una biocenosis estable, en equilibrio con el medio: "biocenosis climax" (CLEMENTS, 1916), permaneciendo estable durante un tiempo del orden de varias generaciones (GAUSSEN, 1951).

Teniendo en cuenta la importancia del clima en cuanto a factor ecológico, son numerosos los autores que han intentado lograr un instrumento de cuantificación climática en el que, dotado de la mayor precisión posible, puedan comprenderse y estudiarse las relaciones vida-clima. En un principio estos estudios estuvieron enfocados principalmente al estudio de las relaciones fito-climáticas, dado que la vegetación, ya fuesen masas forestales o terrenos agrícolas, tenía una mayor importancia que lo que podríamos llamar vida animal, excluyendo de la misma la ganadería, en tanto en cuanto se trata de una explotación humana. Posteriormente diferentes zoólogos estudiaron estas relaciones para determinadas especies o grupos animales, con lo que se vió la aplicación que estos trabajos tenían en la zoología. Hoy en día dados los conocimientos que se poseen sobre la ecología de las diversas especies animales, se pueden extraer una serie de conclusiones de los diagramas en un principio fito-climáticos, pero dada esta nueva faceta de su aplicación pasaron a denominarse bioclimáticos.

Entre los autores que han estudiado y desarrollado este tema con el fin de establecer una serie de índices climáticos y climatogramas, podemos citar a MARTONNE, que relacionando temperaturas y precipitaciones introduce el concepto de índice de aridez que lleva su nombre. EMBERGER que relacionando las temperaturas medias máximas de los meses cálidos y de los meses fríos y las precipitaciones anuales desarrolla su coeficiente pluviométrico. THORNTWAITE que apoyándose en fórmulas más o menos empíricas deduce su índice pluviométrico, índice de humedad e índice de aridez. BAGNOULS y GAUSSEN que con las temperaturas y las precipitaciones medias mensuales, elaboran su diagrama ombrotérmico. Por no hacer la lista interminable, citemos a DANTIN-REVENGA, GONZALEZ VAZQUEZ, PITA CARPENTER, etc., habiendo elaborado estos autores y otros toda una panorámica de índices, variadísimos, con fundamento más o menos teórico y, a veces, arbitrario.

METODOLOGIA

La experiencia ha demostrado que es especialmente útil la aplicación de los diagramas ombrotérmicos de Gaussen, cuya máxima expresión es el Atlas Mundial de Climodiagramas de Walter y Lieth. A estos diagramas ombrotérmicos se les puede asignar dos cualidades importantes: la generalidad de su aplicación, sin incoherencias sensibles, y su utilidad, como medio comparativo.

Los diagramas ombrotérmicos de Gaussen consisten, esencialmente, en dibujar a lo largo del año, la curva de temperaturas medias mensuales y las lluvias medias mensuales, en una correspondencia de escalas tal que a 5° C de temperatura correspondan 10 mm. de lluvia (ver figura 1).

Señalaremos que los dos tipos de sombra obtenidos, resultan sensiblemente coincidentes con los periodos de actividad vegetativa y con la etapa de paralización estival por lo que a vegetación se refiere. Pero hay dos reparos científicos que oponer, al menos: El primero se reduce a preguntar cual es la razón por la que se emplea tal relación de escalas entre temperaturas y lluvias. ¿Por qué 5°C se equiparan a 10 mm. y no a 15 mm. o a 7 mm. por ejemplo?

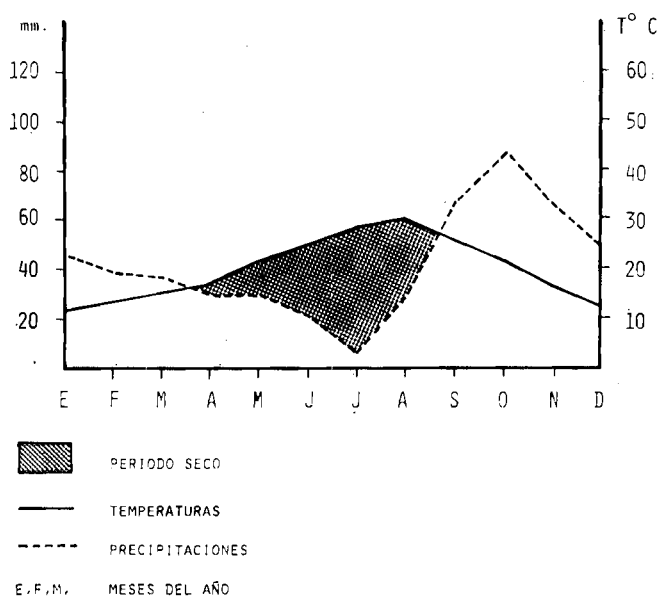


FIGURA 1
Diagrama ombrotérmico de Gaussen.

La única respuesta que se obtiene a esta pregunta, no va mucho más allá de decir que se hace de esa manera, porque así se obtienen buenos resultados.

La contestación se basa en razones experimentales, lo que no excluye, sino al contrario, el carácter científico del instrumento propuesto. Debido a esto podemos decir que el nivel científico a que se mueve este instrumento no es de rango elevado. La Ciencia, y por consiguiente el Método Científico, pide algún "por qué" más que el simple contraste experimental.

El segundo reparo se refiere a los escasos datos climáticos que se toman para materializar las sombras. Es cierto que temperaturas medias y lluvias mensuales son datos importantísimos, pero hay muchos más, algunos de ellos de especialísima repercusión fitológica.

Por otra parte estos diagramas se muestran incapaces de explicar, climatológicamente, la variación botánica natural de una estación concreta, es decir, el por qué de la monotonía o diversidad botánica, por citar algún ejemplo.

Una vez establecido el diagrama ombrotérmico de Gaussen mostraba, como ya hemos indicado, dos sombras coincidentes con los periodos vegetativos, y otra sombra de signo distinto coincidente con la sequía. La comparación de estas sombras, en cuanto superficies cuantificables, con primavera, otoño y verano, y en relación con la actividad vegetativa de las plantas, no presentaba concordancias satisfactorias, por el contrario, se presentaban incoherencias notorias con la realidad. Por ejemplo, en casos de climas lluviosos, con nula sequía, aparecía frecuentemente disminución del área sombreada cuando, si se quería representar con ella la actividad vegetativa, ésta era máxima. También aparecían grandes sombras invernales o de comienzos de primavera, frecuentes, cuando la actividad vegetativa era nula o mínima.

Este hecho ha servido de punto de partida para establecer una aproximación mayor de estos diagramas ombrotérmicos, en tanto en cuanto se quieran utilizar como expresión de la actividad vegetativa correspondiente a las condiciones climáticas en que eran elaborados. Si consideramos que expresamos las diferentes intensidades de la actividad vegetativa como etapas de desarrollo de una biocenosis, es indudable que el máximo desarrollo para cada especie vegetal corresponde al desarrollo óptimo de dicha especie, biocenosis climax, para unas condiciones climáticas determinadas. Del estudio, interpretación y comparación de estos diagramas ombrotérmicos de Gaussen corregidos, se podrán deducir una serie de consecuencias sumamente interesantes (temperaturas, disponibilidad de agua, periodos húmedos y de estiaje, etc.), tanto para la vida vegetal como animal.

HIPOTESIS DE TRABAJO

Como ya hemos indicado anteriormente, las incoherencias notorias que presentaban las sombras de los diagramas ombrotérmicos de Gaussen, en cuanto a superficies cuantificables y en relación con la actividad vegetativa, calificaba como hipótesis falsa a estos diagramas, en cuanto quieran usarse como expresión de la actividad vegetativa correspondiente al clima que representan. Sin embargo, en muchos climas (los españoles, en particular) se puede establecer una cierta correspondencia entre periodos vegetativos y sombras del diagrama.

Partiendo del estudio de Bagnouls y Gaussen sobre diagramas ombrotérmicos, y siguiendo las investigaciones de otros autores, en especial Montero de Burgos y González Rebollar, se va a establecer una serie de hipótesis de trabajo con los cuales se dará una mayor aproximación a las sombras que aparecen en los diagramas ombrotérmicos de Gaussen, en cuanto a superficies cuantificables en relación con la actividad vegetativa real, para finalmente elaborar unos cuadros de cuantificación bioclimática que nos permitan realizar una serie de diagramas bioclimáticos pertenecientes a estaciones meteorológicas situadas en unos puntos característicos de las diferentes zonas climáticas existentes en las Baleares, con el fin de que este método sea una herramienta de trabajo más para la elaboración de estudios comparativos entre dichas zonas climáticas.

PRIMERA HIPOTESIS.

INTENSIDAD BIOCLIMÁTICA POTENCIAL

Partiendo del hecho real que a cada especie vegetal se le puede asignar una temperatura, o un intervalo de temperaturas, entre las cuales se desarrolla óptimamente, supuesto que todas las demás exigencias de la planta (humedad, nutrientes del suelo, insolación, etc.), estén satisfechas, podemos representar un gráfico en el que nos aparezca, mediante curvas similares a las que se observan en la figura 2, la variación de la actividad vegetativa en relación con la temperatura.

En dicha figura está representada en el eje de abscisas la temperatura a la que se desarrolla una planta determinada, y en el eje de ordenadas, la velocidad de su crecimiento a cada temperatura.

Con relación a dicho gráfico conviene señalar una serie de cuestiones:

a.—Se parte del hecho de que, para la inmensa mayoría de las plantas, la actividad vegetativa se inicia alrededor de los 6°C (punto F).

b.—La actividad vegetativa, como todo fenómeno biológico, tiene un arranque lento y, al incrementarse la temperatura, un periodo de incrementos máximos para cada grado de temperatura (tramos AB, A'B',...), un punto de máxima velocidad de crecimiento (puntos C, C', ...) y finalmente un periodo de descenso de la actividad vegetativa (tramos CD, C'D',...) hasta llegar a la muerte de la

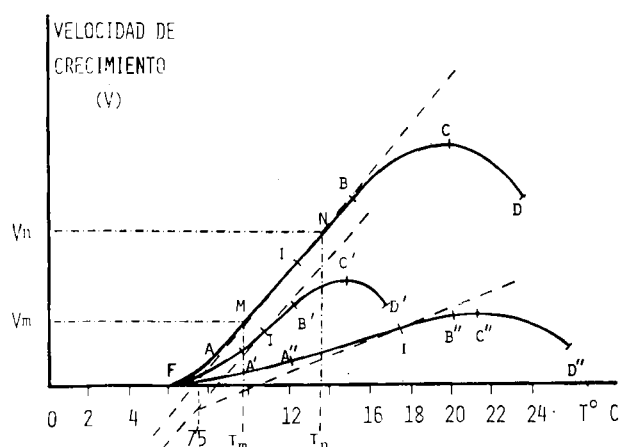


FIGURA 2

Variación de la actividad vegetativa en relación con la temperatura.

planta si la temperatura sigue aumentando (puntos D, D',...).

c.—Las distintas curvas tienen unos tramos, desde F hasta algo más allá de su punto de inflexión (I), que pueden ser los puntos próximos a B, B', B'', ..., antes de llegar a él, cuyas tangentes a su propia curva de velocidad de crecimiento cruzan el eje de ordenadas en un entorno que se puede fijar entre los 6°C y los 9°C.

Si se une el punto A (que se supone aproximadamente situado al comienzo de los grandes incrementos) con el punto C, el A' y el C', ..., con rectas, el entorno anterior se suele reducir a una zona que va desde los 7°C a los 8°C. Hay que tener en cuenta que al intentar transferir fenómenos biológicos a representaciones matemáticas, sólo puede conseguirse una cuantificación aproximada, si acaso, progresiva o continuada, pero siempre aproximada. Partiendo de esta observación previa, casi siempre necesaria al tratarse de fenómenos biológicos, podemos hacer la siguiente afirmación: En todas las curvas dibujadas, puede hablarse de un cierto grado de proporcionalidad (aproximado) entre la velocidad de crecimiento y el incremento que, sobre los 7,5°C, supone la temperatura correspondiente; todo ello dentro de los intervalos comprendidos entre A y C; A' y C'; etc.

Es decir, que para dos puntos de la misma curva puede escribirse:

$$\frac{V_n}{T_n - 7,5} \approx \frac{V_m}{T_m - 7,5} \approx \text{Constante} \quad (1)$$

proporcionalidad que dejaría de ser aproximada para ser exacta, si la recta MN pasase por el punto (T=7,5; V=0). Ya se sabe que todas estas rectas pasan muy cerca de él.

Si los puntos se refieren a otra curva, la constante de proporcionalidad variará, pero se seguirá manteniendo la proporcionalidad aproximada de que se habla.

En resumen, se supone que las curvas de velocidad de crecimiento se reducen a rectas que pasan por (7,5; 0), es

decir, por el punto P y por C, C',..., en cuyo supuesto la expresión (1) dejaría de ser aproximada, para ser exacta en relación con los puntos (MN...) situados en cada recta.

En la figura 3 se ha querido representar esta simplificación. Las curvas de la figura 2 se han sustituido por las rectas PC, PC', ..., sustitución que puede hacerse sabiendo el carácter aproximado de los resultados. La proporcionalidad expresada en la figura 3 se pierde en los extremos de las rectas (puntos P y C, C',...), pero en un caso, punto P, la actividad vegetativa es de escasa cuantía por lo que el valor absoluto de error es pequeño, y en los puntos C, C',..., la temperatura media mensual, que se corresponde con la que origina ese máximo en las partes en crecimiento de la planta, suele estar por encima de los 25°C, que es una temperatura suficientemente alta, siendo difícil de alcanzar por una serie de climas que no la sobrepasan en verano, con lo que la gráfica de la figura 3 mantendrá su proporcionalidad dentro de los intervalos de estudio.

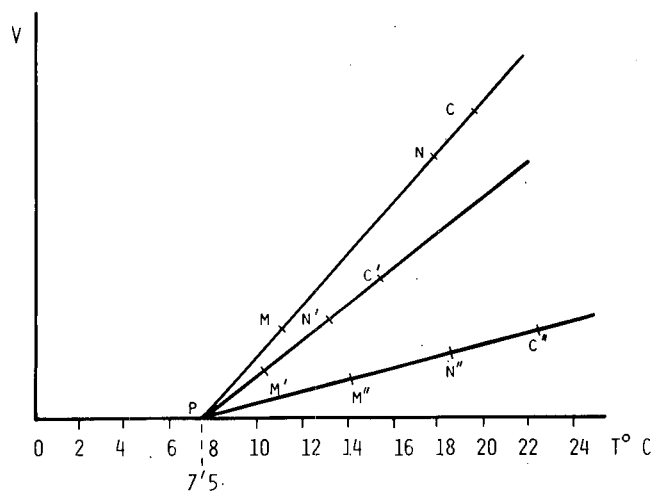


FIGURA 3
Representación aproximada de la variación de la actividad vegetativa en relación con la temperatura.

Dentro del campo donde se pueda aplicar la representación aproximada de la variación de la actividad vegetativa, se deduce que el crecimiento total de una planta será, por una parte, proporcional a la velocidad de crecimiento, lo que es lógico, y por otra, al tiempo de que se trate, o tiempo que dure esa velocidad (supuesta la ausencia de cualquier otra limitación).

Como la velocidad de crecimiento es proporcional a $(T - 7,5)$ —siempre aproximadamente— resultará que el crecimiento total será proporcional a $(T - 7,5)$ y al tiempo, y por lo tanto, al producto de estos dos factores.

Concretamente, si nos fijamos en la figura 4, la actividad vegetativa total será proporcional al área ABCD, que tiene esas dos dimensiones. $(T - 7,5)$ en ordenadas y tiempo de abscisas, siendo AB la curva de temperatura a lo largo del tiempo.

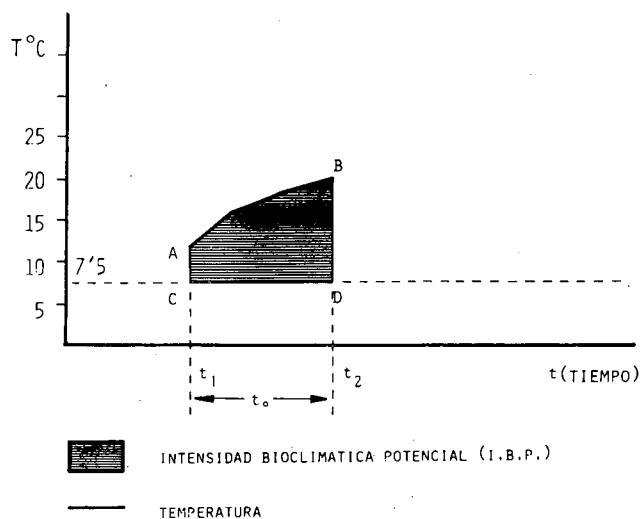


FIGURA 4
Intensidad bioclimática potencial.

Por supuesto, cabe una deducción matemática de mayor rigor. Si V_n es la velocidad de crecimiento en un tiempo t , según (1):

$$\frac{V_n}{T_n - 7,5} \approx K \text{ (constante)} \quad (2)$$

Si V_n es un valor instantáneo:

$$V_n = \frac{dc}{dt} \quad (3)$$

Siendo c el crecimiento o actividad vegetativa instantánea. Puede escribirse por tanto según (2):

$$\frac{dc}{dt} = K (T_n - 7,5) \quad (4)$$

$$c = K \int (T_n - 7,5) dt + \text{cte.}$$

Como para $T_n = 7,5^\circ\text{C}$. el crecimiento o actividad vegetativa es muy pequeño, lo suponemos nulo, y por tanto $\text{cte.} = 0$.

$$c = K \int_{t_1}^{t_2} (T_n - 7,5) dt \quad (5)$$

que viene a expresar matemáticamente, lo que decíamos antes: que la actividad vegetativa es proporcional al área comprendida entre la curva de temperaturas y $T = 7,5^\circ\text{C}$, dentro de tiempos determinados (t_1 y t_2). Esta área nos da pie para establecer la primera hipótesis fundamental: La actividad vegetativa máxima que puede proporcionar el clima, se mide por el área comprendida entre la curva de las

temperaturas medias mensuales a la recta correspondiente a 7,5°C. A este área se le denominará INTENSIDAD BIOCLIMÁTICA POTENCIAL (I. B. P.), y puede aplicarse a cualquier periodo de tiempo con tal que (T - 7,5°C) tenga el mismo signo siempre.

Denominaremos I. B. P. cálida si $T > 7,5^{\circ}\text{C}$. e I. B. P. fría si $T < 7,5^{\circ}\text{C}$ (ver figura 5).

Denominaremos unidad bioclimática (u. b. c.) al producto de $5^{\circ}\text{C} \times 1$ mes. Si en el dibujo del diagrama se emplean escalas de modo que 1 cm. represente en ordenadas 5°C , y en abscisas 1 mes, la u. b. c. será exactamente la superficie de 1 centímetro cuadrado.

De la hipótesis fundamental podemos deducir una serie de hipótesis complementarias o aclarar una serie de puntos. La I. B. P. es un concepto puramente fitoclimático. Su cuantificación se debe componer con los aspectos edafológicos, biológicos, etc., para obtener o comprender los resultados de un caso concreto. De él se espera puedan obtenerse correlaciones biológicas, especialmente fitológicas, de ahí que se añada un prefijo al adjetivo "climática" pero, no es más que una esperanza, fundada en un supuesto.

Así como la I. B. P. cálida se espera su correlación con crecimientos, o fenómenos paralelos a la actividad vegetativa, la I. B. P. fría significa paralización vegetativa, y su cuantía debe medir la intensidad de esta paralización.

Las correlaciones climáticas a las que nos estamos refiriendo, se espera obtenerlas en la mayoría de ocasiones, si no se manejan temperaturas demasiado próximas a $7,5^{\circ}\text{C}$. o demasiado altas, por superar el óptimo de la especie estudiada. Tanto en el caso de que las temperaturas no alcancen los $7,5^{\circ}\text{C}$., como en el que superen los 25°C ., será necesario diseñar diagramas especiales que contemplen estos matices.

Antes de finalizar el análisis de esta primera hipótesis conviene definir un concepto importante, se trata de la Temperatura Básica (T_m).

Sabiendo es que uno de los datos climáticos de especial interés ha sido siempre la temperatura: máxima, mínima o media, referida al día, al mes, al año o a un periodo concreto, pero dado el tipo de estudio que estamos abordando, nos deben interesar los datos térmicos que tengan posible significado biológico. La temperatura media del periodo en el que la I. B. P. es cálida, podría ser una aproximación a esta meta.

Se puede pensar, sin temor a mucho error, que más significado biológico ha de tener la temperatura media de la I. B. P. (que llamamos T_m), es decir, la media ponderada de las temperaturas en relación con la I. B. P. a que se refieran; de tal forma que, a igualdad de I. B. P. elementales, la temperatura buscada se acerque más a aquella, que resulta más frecuente, por corresponder a mayores I. B. P. Por ejemplo, si una especie concreta tiene su máxima actividad vegetativa a la temperatura T_a , es decir, si su óptimo térmico se corresponde con la temperatura ambiental T_a , es claro que esa especie se desarrollará mejor y con mayor actividad vegetativa en climas en que la temperatura más frecuente de las I. B. P. parciales se acerque a ese valor.

A la temperatura T_m se le llamará temperatura básica de la I. B. P. Tomando como expresión la temperatura media ponderada, resultará:

$$T_m = \frac{T_a \cdot I_a + T_b \cdot I_b + T_c \cdot I_c + \dots}{I_a + I_b + I_c + \dots} = \sum \frac{T_i \cdot I_i}{\sum I_i} \quad (6)$$

siendo:

T_m = Temperatura básica de la I. B. P.

T_a, T_b, T_c, \dots = Temperaturas medias mensuales (o de otros periodos elementales) correspondientes a los meses (o periodos) a, b, c,...

I_a, I_b, I_c, \dots = Intensidad bioclimática potencial correspondiente a los meses (o periodos) a, b, c,...

SEGUNDA HIPOTESIS EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

En esta segunda hipótesis vamos a considerar la evapotranspiración potencial como medida de las necesidades hídricas de la planta.

En la hipótesis anterior se consideraba que el clima ponía a disposición de la actividad vegetativa de las plantas toda la humedad necesaria, y ello daba lugar a la I. B. P., como superficie, que rellenaba por completo el área comprendida entre la curva de temperatura y la recta $T = 7,5^{\circ}\text{C}$. (Ver figura 5).

Si hubiese déficit hídrico se intuye que la superficie mencionada debe disminuir de alguna manera. Pero no se

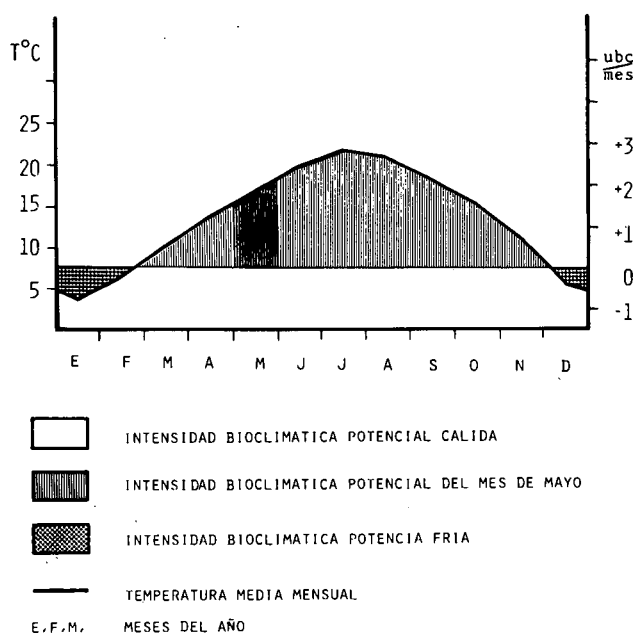


FIGURA 5
Intensidad bioclimática potencial a lo largo del año.

sabe cómo, ¿por qué? Porque es necesario saber cuales (cuantas) son las exigencias de agua en cada periodo elemental, para ver si el clima suministra esa cantidad exactamente, o bien más, o bien menos.

Si suministra igual o más, la superficie de la I. B. P. será plena, es decir, la INTENSIDAD BIOCLIMATICA REAL (I. B. R.) será igual a la POTENCIAL. Pero si proporciona menos, habrá actividad vegetativa menor que la potencial y, por tanto, aparece como necesario el cuantificar la Intensidad Bioclimática Real (I. B. R.), que ha de ser menor (o igual) que la I. B. P., y sensiblemente proporcional a la actividad vegetativa de ese periodo. Debido a esto debemos considerar la evapotranspiración potencial como medida de las necesidades hídricas del vegetal.

Fue Thornthwaite quien introdujo el término "evapotranspiración potencial" para expresar los efectos combinados de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas. Se define como la cantidad de agua que perderá una superficie de suelo completamente cubierta de vegetación en crecimiento activo si, en todo momento, existe en el suelo humedad suficiente para su uso máximo por las plantas.

Se sabe que la evapotranspiración de un cultivo puede ser especialmente intensa en determinados momentos (floración, etc.), pero también está comprobado, según investigaciones recientes (Garía Lozano y González Bernaldez) que, en periodos, al menos iguales en duración, al mes la evapotranspiración es constante y no depende más que de los factores climáticos. Por ello no parece absurdo, sino todo lo contrario, emplear, en los diagramas bioclimáticos, la evapotranspiración potencial como medida de las necesidades hídricas.

De los diferentes métodos de cálculo propuestos para hallar la evapotranspiración potencial, Thornthwaite, Turc, Penman, Linacre, etc., lo mejor será emplear un método de cálculo lo más cercano posible al de Penman, porque en este caso entran prácticamente la totalidad de los factores climáticos.

Supongamos (figura 6) una curva de temperaturas medias mensuales (T) a lo largo del tiempo (t) perteneciente a una localidad determinada. Supongamos también una curva de evapotranspiración potencial (E) adecuada que, como sabemos por hipótesis, mide las necesidades de agua. Se representan las ordenadas, en mm/mes de agua. Es indiferente la relación de las escalas gráficas de T y E.

Ante estas necesidades de agua, caben unas disponibilidades (D) que no tienen por qué ser iguales. Unas veces serán mayores las disponibilidades (periodos A, C). Otras veces serán mayores las exigencias de agua (periodo B). Las disponibilidades se dibujan en la misma escala que la evapotranspiración potencial.

Si las disponibilidades son precisamente las lluvias (pueden ser otras como los riegos, o ambas), hay que caer en la cuenta que si bien puede hablarse de un cierto grado de continuidad en las exigencias de humedad por parte de la planta, las lluvias son y se anotan discontinuas, aunque

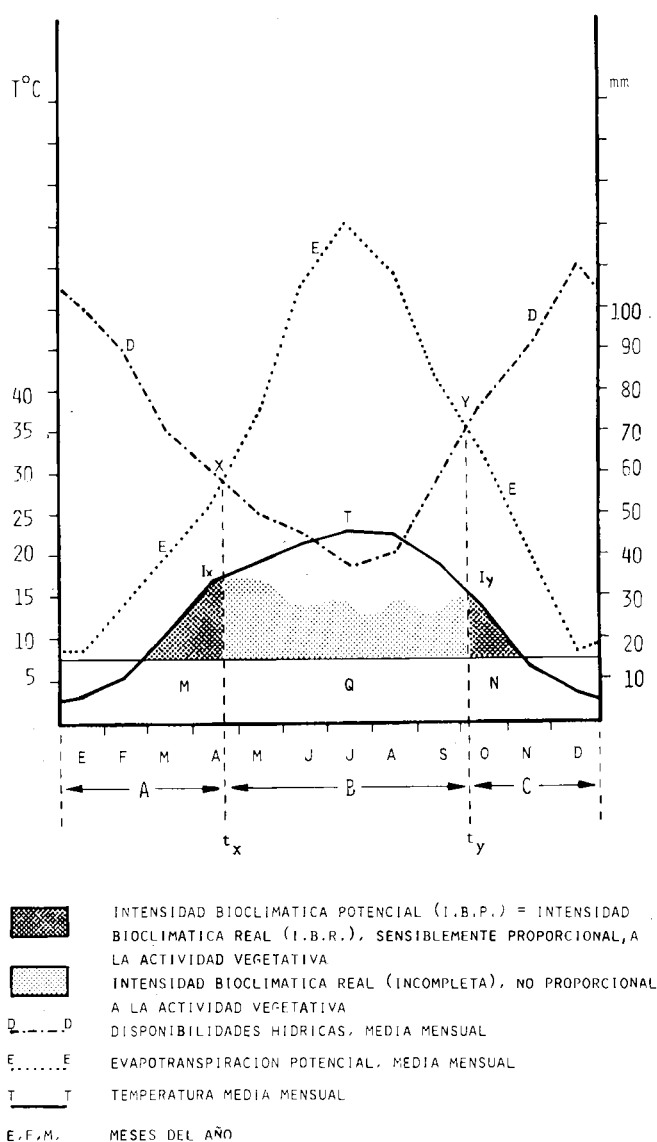


FIGURA 6
Límites de la Intensidad bioclimática completa.

en su representación gráfica con los promedios mensuales de la sensación de continuidad. La continuidad de su presencia en la acción vegetativa se deriva de su retención por los suelos, forestales o agrícolas. Por consiguiente, no puede hablarse del balance D/E sin, al mismo tiempo, considerar la capacidad de retención del suelo.

Las retenciones reales de agua por los distintos tipos de suelos, no son constantes ni sencillas de establecer, sino que corresponden a fenómenos de cierta complejidad. Se deben suponer unas ciertas capacidades de retención y a partir de ellas establecer los cálculos apropiados.

Puede considerarse como aproximado que si se supone que $D = P$, la capacidad de retención climatológica es cero ($CR = 0$), que es el caso de suelos de permeabilidad notable o de escasa potencia.

(Continuará)